



Nugro Asmoro<sup>1</sup>  
 Fiska Y.  
 Purwaningtyas<sup>2</sup>

## PENGARUH SUHU PEMBUATAN BIODESEL TERHADAP DENGAN ADSORBEN TEMPURUNG KELAPA

### Abstrak

Minyak goreng kelapa RBD bekas dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel tetapi memiliki kadar asam lemak bebasnya (Free Fatty Acid, FFA) cukup tinggi. Untuk itu perlu dilakukan pretreatment berupa proses adsorpsi untuk menurunkan kadar FFA. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan penggunaan tempurung kelapa sebagai bahan adsorben saat menghasilkan biodiesel dari minyak kelapa bekas dan untuk mengevaluasi bagaimana suhu mempengaruhi proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak kelapa bekas. Tempurung kelapa yang digunakan sebagai adsorben di karbonisasi dengan suhu 400 °C dan diaktivasi dengan asam phospat. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi untuk menurunkan nilai asam lemak bebas pada minyak kelapa RBD bekas dengan nilai penurunan dari 1,8017 % menjadi 0,088649 %. Setelah itu dilakukan proses transesterifikasi pada kecepatan 300 rpm selama 60 menit menggunakan pelarut etanol dan variasi suhu (30; 40; 50; 60; 70) °C. Hasil yield biodiesel yang didapatkan pada suhu 30 °C sebesar 72,46 %, suhu 40 °C sebesar 78,12 %, suhu 50 °C sebesar 79,48 %, Suhu 60 °C sebesar 86,52 dan pada suhu 70 °C sebesar 82,98 %. Kondisi terbaik transesterifikasi diapatkan pada variasi suhu 60 °C dengan nilai massa jenis 869,76 kg/m<sup>3</sup>, viskositas 2,25 cSt dan nilai angka asam 0,35912394 mg-KOH/g.

**Kata kunci :** Biodiesel, Tempurung Kelapa, Transesterifikasi, Variabel Suhu, Etanol, NaOH

### Abstract

Used RBD coconut cooking oil can be used as a raw material for making biodiesel but has a fairly high level of free fatty acids (FFA). Therefore, pretreatment in the form of an adsorption process is needed to reduce the FFA level. This study aims to investigate the possibility of using coconut shells as an adsorbent when producing biodiesel from used coconut oil and to evaluate how temperature affects the transesterification process in making biodiesel from used coconut oil. Coconut shells used as adsorbents were carbonized at a temperature of 400 °C and activated with phosphoric acid. Furthermore, an adsorption process was carried out to reduce the free fatty acid value in used RBD coconut oil with a decrease value from 1.8017% to 0.088649%. After that, the transesterification process was carried out at a speed of 300 rpm for 60 minutes using ethanol solvent and temperature variations (30; 40; 50; 60; 70) °C. The biodiesel yield obtained at a temperature of 30 °C was 72.46%, a temperature of 40 °C was 78.12%, a temperature of 50 °C was 79.48%, a temperature of 60 °C was 86.52 and at a temperature of 70 °C was 82.98%. The best transesterification conditions were obtained at a temperature variation of 60 °C with a density value of 869.76 kg/m<sup>3</sup>, a viscosity of 2.25 cSt and an acid number value of 0.35912394 mg-KOH/g.

**Keywords:** Biodiesel, Coconut Shell, Transesterification, Temperature Variable, Ethanol, Naoh

### PENDAHULUAN

Di seluruh dunia, masalah sumber daya alam dan lingkungan telah menjadi perhatian utama dalam beberapa dekade terakhir. Polusi lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, adalah salah satu masalah besar yang harus diselesaikan. Polusi ini berdampak buruk pada kualitas udara dan iklim secara keseluruhan. Biodiesel dan alternatifnya yang ramah lingkungan telah muncul sebagai solusi yang

<sup>1,2)</sup> Universitas Muhammadiyah Gresik  
 email: nugroasmoro212@gmail.com, fiskayohana@umg.ac.id

menjanjikan untuk masalah ini. Biodiesel dibuat dari trigliserida berbagai jenis tumbuhan dan hewan melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan esterifikasi asam lemak bebas dengan methanol atau etanol ester dan gliserol (Markopala, 2007). Biodiesel menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan dengan diesel atau solar bebas sulfur, memiliki jumlah asap yang rendah, dan memiliki angka setana yang rendah (antara 57 dan 62), yang meningkatkan efisiensi pembakarannya (M Isa Anshary, 2012)

Minyak kelapa adalah salah satu minyak nabati yang dapat digunakan untuk membuat biodiesel. Dalam penelitian ini, Digunakan minyak kelapa bekas karena banyaknya limbah minyak kelapa bekas yang terbuang sia – sia. Minyak kelapa memiliki kualitas bahan bakar terbaik dibandingkan dengan jenis minyak nabati lainnya, menurut penelitian yang dilakukan James Cook University (1983). Kandungan ester pada minyak kelapa sangat baik untuk mesin diesel, bahkan lebih baik daripada minyak diesel sendiri.. Biodiesel dibuat melalui tahap pemurnian minyak dan esterifikasi-transesterifikasi minyak. Minyak kelapa RBD bekas merupakan salah satu jenis limbah minyak goreng yang jumlahnya cukup melimpah dan masih belum dimanfaatkan secara optimal. Pembuangan minyak bekas secara sembarangan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, khususnya pada tanah dan perairan. Di sisi lain, minyak kelapa memiliki kandungan asam lemak rantai menengah yang relatif tinggi, sehingga berpotensi menghasilkan biodiesel dengan karakteristik pembakaran yang baik. Namun, penggunaan minyak kelapa RBD bekas sebagai bahan baku biodiesel menghadapi kendala utama berupa meningkatnya kadar asam lemak bebas akibat proses pemanasan berulang selama pemakaian. Kondisi ini menuntut adanya proses pemurnian awal agar minyak layak digunakan dalam reaksi transesterifikasi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan minyak jelantah atau minyak nabati bekas sebagai bahan baku biodiesel melalui proses transesterifikasi. Namun, salah satu kendala utama yang sering dijumpai adalah tingginya kandungan asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA) yang dapat menghambat reaksi transesterifikasi berbasis katalis basa dan menyebabkan pembentukan sabun. Beberapa metode pretreatment telah diterapkan, seperti esterifikasi asam, neutralisasi basa, dan pemurnian bertahap, tetapi metode-metode tersebut umumnya memerlukan biaya operasional yang tinggi, waktu proses yang relatif lama, serta penggunaan bahan kimia dalam jumlah besar. Oleh karena itu, diperlukan alternatif metode pretreatment yang lebih sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk menurunkan kadar FFA sebelum proses transesterifikasi dilakukan.

Proses pretreatment merupakan tahap krusial dalam pembuatan biodiesel dari minyak bekas karena menentukan keberhasilan reaksi transesterifikasi dan kualitas produk akhir. Kadar asam lemak bebas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan apabila digunakan katalis basa, sehingga menurunkan yield biodiesel yang dihasilkan. Salah satu metode pretreatment yang dinilai efektif dan relatif sederhana adalah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif. Metode ini bekerja dengan mengikat senyawa asam lemak bebas dan pengotor lain yang terdapat dalam minyak, sehingga karakteristik minyak menjadi lebih stabil dan sesuai untuk proses transesterifikasi. Dengan demikian, pemilihan jenis adsorben yang tepat menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi proses pembuatan biodiesel.

Pemurnian minyak adalah proses yang sangat penting untuk mengurangi jumlah asam lemak bebas untuk menghasilkan biodiesel dan produk olahan lainnya yang berkualitas tinggi. Untuk neutralisasi asam lemak bebas, ada dua metode : menggunakan basa atau esterifikasi dengan katalis asam. Kedua metode tersebut tidak efektif karena prosesnya sulit dan mahal. Dengan menggunakan adsorben dari arang aktif, kadar asam lemak bebas pada minyak kelapa bekas dapat dikurangi. Ini karena metode adsorpsi menggunakan bahan yang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi kotoran pada minyak. Sekam padi, bonggol jagung, kulit salak, tempurung kelapa, dan berbagai bahan lain yang mengandung karbon dapat digunakan untuk membuat arang aktif.

Pemanfaatan adsorben berbasis biomassa menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan dalam pemurnian minyak jelantah, mengingat ketersediaannya yang melimpah dan dampaknya yang relatif kecil terhadap lingkungan. Tempurung kelapa merupakan salah satu limbah biomassa yang memiliki kandungan karbon tinggi serta struktur pori yang baik setelah melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Dibandingkan dengan adsorben lain seperti zeolit, bentonit, atau karbon aktif komersial, tempurung kelapa memiliki keunggulan dari segi

ketersediaan bahan baku lokal, biaya produksi yang lebih rendah, serta potensi pemanfaatan limbah pertanian yang mendukung konsep ekonomi sirkular. Aktivasi kimia menggunakan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) diketahui mampu meningkatkan luas permukaan dan volume pori karbon aktif, sehingga efektivitas adsorpsi asam lemak bebas dalam minyak dapat meningkat secara signifikan.

Penggantian alkohol dari trigliserida, dengan ester lain atau transformasi asam-asam lemak menjadi ester menghasilkan alkil ester adalah proses yang dikenal sebagai transesterifikasi. Proses alkoholisis ini adalah reaksi yang biasanya berjalan lambat, tetapi suatu katalis dapat mempercepatnya (Indah et al., 2011). Transesterifikasi juga merupakan reaksi yang menghasilkan metil atau etil ester dengan mereaksikan bagian minyak, seperti trigliserida, dengan alkohol, seperti metanol atau etanol, dibantu oleh katalis basa atau asam.

Selain kualitas bahan baku dan proses pretreatment, kondisi operasi selama reaksi transesterifikasi juga berperan penting dalam menentukan kualitas dan kuantitas biodiesel yang dihasilkan. Salah satu parameter utama dalam proses ini adalah suhu reaksi, yang secara langsung memengaruhi laju reaksi, konversi trigliserida menjadi ester, serta kestabilan produk biodiesel. Peningkatan suhu umumnya dapat mempercepat tumbukan antar molekul reaktan sehingga mempercepat pembentukan ester asam lemak. Namun, suhu yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan penguapan alkohol, degradasi produk, serta penurunan yield biodiesel. Oleh karena itu, penentuan suhu reaksi yang optimum menjadi faktor krusial dalam menghasilkan biodiesel dengan karakteristik yang memenuhi standar mutu. Meskipun berbagai penelitian telah membahas produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan beragam metode pretreatment dan kondisi operasi, kajian yang mengombinasikan penggunaan minyak kelapa RBD bekas dengan pretreatment adsorpsi menggunakan karbon aktif tempurung kelapa teraktivasi  $H_3PO_4$  serta evaluasi pengaruh variasi suhu transesterifikasi menggunakan etanol masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mengoptimalkan pemanfaatan limbah minyak kelapa bekas dan biomassa tempurung kelapa sebagai bahan baku biodiesel yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Selain kualitas bahan baku dan proses pretreatment, kondisi operasi selama reaksi transesterifikasi, khususnya suhu reaksi, sangat mempengaruhi hasil biodiesel yang diperoleh. Suhu reaksi berperan dalam menentukan laju reaksi, konversi trigliserida menjadi ester, serta kestabilan biodiesel yang dihasilkan. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan reaksi berlangsung lambat, sedangkan suhu yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan penguapan alkohol dan reaksi samping yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mendalam untuk mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh variasi suhu transesterifikasi terhadap densitas, viskositas, bilangan asam, dan yield biodiesel yang dihasilkan dari minyak kelapa RBD bekas dengan pretreatment adsorpsi menggunakan karbon aktif tempurung kelapa.

Fokus penelitian ini adalah mempelajari bagaimana variasi suhu mempengaruhi proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel menjadi sangat penting dan membantu dalam upaya untuk mengembangkan produksi biodiesel yang lebih ekonomis, efisien, dan ramah lingkungan dari sumber daya terbarukan seperti minyak kelapa bekas.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi suhu terhadap proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa RBD bekas menggunakan adsorben karbon aktif tempurung kelapa. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu pembuatan dan aktivasi karbon aktif, proses adsorpsi untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA), serta proses transesterifikasi dengan variasi suhu reaksi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tempurung kelapa kering sebagai bahan baku karbon aktif, larutan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) sebagai aktivator, minyak kelapa RBD bekas sebagai bahan baku biodiesel, etanol 98% sebagai alkohol pereaksi, serta natrium hidroksida ( $NaOH$ ) sebagai katalis basa. Volume minyak kelapa RBD bekas yang digunakan pada proses adsorpsi dan transesterifikasi masing-masing sebesar 50 mL dan 100 gram, dengan perbandingan mol minyak terhadap etanol sebesar 1:6. Karbon aktif tempurung kelapa yang

digunakan berukuran 80 mesh, sedangkan konsentrasi katalis NaOH yang digunakan sebesar 1% terhadap berat minyak. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas beaker, labu leher tiga berkapasitas 500 mL, erlenmeyer, buret, gelas ukur, pipet volume dan pipet ukur, magnetic stirrer, termometer, furnace, oven, desikator, corong pisah, pendingin balik, labu distilasi, serta peralatan pendukung lainnya. Rangkaian alat penelitian terdiri atas dua bagian utama, yaitu rangkaian alat transesterifikasi yang digunakan untuk mereaksikan minyak dengan alkohol pada kondisi suhu tertentu, serta rangkaian alat pemisahan yang digunakan untuk memisahkan biodiesel dari gliserol dan fase cair lainnya.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu reaksi transesterifikasi yang divariasikan pada suhu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C, sedangkan variabel terikat meliputi karakteristik biodiesel yang dihasilkan, yaitu densitas, viskositas, bilangan asam, dan yield biodiesel. Variabel tetap dalam penelitian ini meliputi waktu reaksi selama 60 menit, kecepatan pengadukan sebesar 300 rpm, jenis katalis, konsentrasi katalis, serta perbandingan mol minyak dan alkohol. Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap kualitas dan kuantitas biodiesel yang dihasilkan.

### **Pembuatan karbon aktif**

Tempurung kelapa dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. Kemudian dikarbonisasi pada suhu 400 oC selama 90 menit dalam furnace. Karbon yang terbentuk dihaluskan, lalu diayak hingga ukuran partikel 10 mesh. Setelah itu, dilakukan aktivasi fisika dengan cara di furnace pada suhu 600oC selama 30 menit. Setelah itu karbon direndam dalam larutan H3PO4 dengan konsentrasi 20% selama 24 jam. Kemudian, karbon aktif dicuci dengan menggunakan aquadest hingga filtrat netral dan disaring. Karbon aktif yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada temperatur 110 oC selama 1 jam dan kemudian didinginkan di dalam desikator selama 20 menit.

### **Proses adsorpsi minyak kelapa RBD (refined bleached deorized)**

Sampel minyak kelapa RBD bekas yang akan diadsorpsi dianalisa terlebih dahulu mengenai bilangan asam lemak bebas. Setelah itu, partikel padat pada sampel minyak jelatah disaring, kemudian sebanyak 500 gr minyak dipanaskan dan dihomogenkan dengan suhu 100-105 °C selama 90 menit, setelah itu sebanyak 50 g karbon aktif tempurung kelapa dimasukkan dalam minyak, lalu diaduk dengan magnetic stirrer dengan pengadukan 300 rpm selama 90 menit. Setelah itu minyak disaring, dan filtratnya ditampung, kemudian dilakukan pengujian asam lemak bebas.

### **Proses transesterifikasi**

Sebanyak 100 gr minyak kelapa RBD hasil proses adsorpsi dipanaskan sampai 50 oC, kemudian tambahkan 1% Natrium Hidroksida dalam etanol 98% dengan perbandingan mol minyak:alkohol = 1:6, waktu reaksi selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 300 rpm dan variasi suhu (30,40,50,60,70)oC. Kemudian didiamkan dalam corong pisah selama 24 jam. Biodiesel yang telah dibuat kemudian dicuci dengan aquadest hangat 3-4 kali untuk menghilangkan sisa katalis dan gliserol. Setelah itu, dipanaskan pada suhu 105-110oC sampai tidak ada gelembung yang muncul, kemudian dilakukan pengujian karakterisasi bilangan asam, massa jenis, yield, dan viskositasnya.

### **Uji asam lemak bebas**

Uji asam lemak bebas pada minyak kelapa dilakukan dengan menimbang sampel 10 gr sampai 50 gr ke dalam erlenmeyer, kemudian dilarutkan dengan 50 ml etanol hangat dan ditambahkan 5 tetes larutan phenolphthalein sebagai indikator. Larutan tersebut dititrasi dengan kalium hidroksida atau sodium hidroksida 0,1 N sampai terbentuk warna merah muda (bertahan selama 30 detik). Asam lemak bebas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{ALB (asam lemak bebas)} = \frac{25,6 \times V \times N}{W}$$

Dengan,

- ALB = Asam lemak bebas (%)
- V = Volume larutan NaOH (ml)
- N = Normalitas larutan NaOH (N)
- W = Berat sampel (gr)

### **Uji densitas biodiesel**

Perhitungan densitas biodiesel dilakukan dengan menyiapkan piknometer kosong 10 ml, dicuci sampai bersih lalu dioven dengan suhu 100 oC hingga piknometer kering. Selanjutnya piknometer yang telah dikeringkan ditimbang dengan neraca analitik digital. Setelah ditimbang, biodiesel yang telah dipanaskan hingga suhu 40 oC diisi ke dalam piknometer lalu ditimbang kembali dengan neraca analitik digital dan dicatat hasilnya. Untuk menghitung densitas

menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

Dengan,

- $\rho$  = Densitas biodiesel ( $\frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ )
- $m_1$  = Berat piknometer isi (gr)
- $m_2$  = Berat piknometer kosong (gr)
- $V$  = Volume piknometer (ml)

(2)

### Uji viskositas biodiesel

Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer oswald. Pengujian dilakukan dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengalirkan cairan di dalam pipa kapiler a ke b. Biodiesel yang sudah dipanaskan hingga suhu 40 °C diukur viskositasnya dengan memasukkan kedalam viskometer oswald. Bola penghisap digunakan untuk menghisap cairan hingga mencapai tanda batas atas. Setelah itu, cairan dibiarkan mengalir ke bawah, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tanda batas atas ke tanda batas bawah, dicatat menggunakan stopwatch. Untuk menghitung nilai viskositas, digunakan persamaan berikut :

$$\mu_{\text{bio}} = \frac{\rho_{\text{bio}} \times t_{\text{bio}}}{\rho_{\text{air}} \times t_{\text{air}}}$$

Dengan,

- $\mu_{\text{bio}}$  = Viskositas biodiesel (cSt)
- $t_{\text{air}}$  = Viskositas air (cSt)
- $\rho_{\text{bio}}$  = Densitas biodiesel ( $\frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ )
- $\rho_{\text{air}}$  = Densitas air ( $\frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ )
- $t_{\text{bio}}$  = Waktu alir rotanta biodiesel (s)
- $t_{\text{air}}$  = Waktu alir rotanta air (s)

### Uji yield biodiesel

Pengujian yield biodiesel dilakukan pada pemisahan menggunakan corong pisah dan ditampung dalam

beaker glass 100 ml, setelah itu dipanaskan dengan oven pada suhu 110 °C untuk menghilangkan sisa etanol dan air. Setelah dilakukan pemanasan, yield biodiesel dimasukkan kedalam desikator untuk menurunkan suhu. Selanjutnya neraca analitis digital digunakan untuk menimbang larutan, dan dicatat massa yang diperoleh. Untuk uji yield biodiesel digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Yield} = \frac{m_{\text{bio}}}{m_{\text{m}}} \times 100\%$$

Dengan,

- $\text{Yield}$  = Yield biodiesel (%)
- $m_{\text{bio}}$  = Berat produk biodiesel (gr)
- $m_{\text{m}}$  = Berat total sampel (gr)

### Uji angka asam biodiesel

Sampel biodiesel dilakukan titrasi dengan larutan KOH yang telah distandarisasi dan dengan tambahan indikator phenolphthalein. Volume titran yang dibutuhkan untuk melakukan titrasi dicatat. Berdasarkan hasil volume KOH yang digunakan, angka asam dapat digitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Asam} = \frac{V \times N \times 56,1}{W}$$

Dengan,

- $\text{Asam}$  = Angka asam (mg-KOH/gr)
- $V$  = Volume KOH (ml)
- $N$  = Normalitas KOH (N)
- $W$  = Berat sampel (mg)

(5)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Minyak Kelapa RBD Bekas

Bahan baku yang terlibat dalam rangkaian penelitian ini adalah minyak kelapa RBD bekas. Minyak kelapa RBD bekas merupakan hasil dari limbah rumah tangga yang berlokasi di sekitar daerah Perumahan PETROKIMIA Gresik. Berikut ini karakteristik minyak kelapa RBD bekas yang disajikan pada Tabel 1 :

Tabel 1. Karakteristik Minyak Kelapa RBD Bekas Sebelum Adsorpsi

Karakteristik	Nilai
Massa Jenis pada 40 °C (gr/ml)	0,931
Viskositas kinematic pada 40 °C ( cSt)	12,01855

Asam lemak bebas (FFA %)	1,8017
Warna	Coklat kekuningan, Keruh

### Karakteristik Minyak Kelapa RBD Bekas Setelah Adsorpsi

Karakteristik minyak kelapa RBD bekas setelah adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini :

Tabel 2. Karakteristik Minyak Kelapa RBD Bekas Setelah Adsorpsi

Karakteristik	Nilai
Massa Jenis pada 40 °C (gr/ml)	0,90194
Viskositas kinematic pada 40 °C ( cSt)	6,926552
Asam lemak bebas (FFA %)	0,08649
Warna	Kuning, Jernih

Berdasarkan data yang tersaji pada tabel di atas dapat disimpulkan bahwa setelah melewati fase adsorpsi, karakteristik minyak kelapa RBD bekas mengalami penurunan densitas, viskositas dan nilai asam lemak bebas, serta terjadi perubahan warna. Berwarna kuning (terang). Sebelum adsorpsi, bilangan asam lemak bebas (ALB) minyak kelapa RBD bekas yang digunakan adalah 1,8017 %. Setelah melewati tahap adsorpsi indeks asam lemak bebas mengalami penurunan menjadi 0,08649 % sehingga persentase asam lemak bebas sesuai SNI 8904:2020 minyak kelapa goreng dengan standar angka asam lemak bebas maksimal 0,1 %. Hal ini sesuai dengan (Piker et al., 2016) yang menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi akan terjadi jika kandungan asam lemak bebas suatu bahan baku atau minyak adalah jumlahnya tidak melebihi 2 mg KOH/g atau 1% Asam Lemak Bebas.

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat bahwa proses adsorpsi menggunakan karbon aktif tempurung kelapa memberikan perubahan signifikan terhadap karakteristik fisik dan kimia minyak kelapa RBD bekas. Penurunan nilai massa jenis dan viskositas setelah adsorpsi menunjukkan bahwa senyawa-senyawa pengotor, termasuk asam lemak bebas dan residu hasil pemakaian minyak, telah berhasil teradsorpsi oleh karbon aktif. Perubahan warna dari coklat kekuningan keruh menjadi kuning jernih juga mengindikasikan berkurangnya kandungan zat pengotor yang terlarut dalam minyak.

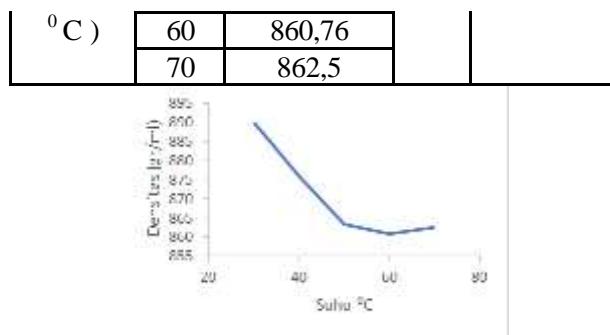
Penurunan kadar asam lemak bebas dari 1,8017% menjadi 0,08649% menunjukkan bahwa karbon aktif tempurung kelapa memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat baik terhadap senyawa asam dalam minyak. Nilai ini telah memenuhi standar mutu SNI 8904:2020, yang mensyaratkan kadar asam lemak bebas maksimum sebesar 0,1%. Keberhasilan proses adsorpsi ini sangat penting karena kandungan asam lemak bebas yang rendah akan meminimalkan reaksi penyabunan pada tahap transesterifikasi, sehingga reaksi dapat berlangsung lebih efektif dan menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang lebih baik.

### Uji Densitas

Densitas merupakan hal penting dalam semua bahan bakar karena berpengaruh pada karakteristik kinerja mesin secara langsung, meliputi efisiensi atomisasi bahan bakar dan karakteristik pembakaran(Rastini, 2022).

Tabel 3. Karakteristik Densitas Biodiesel Berbagai Suhu

Uji Kualitas	Suhu (°C )	Massa Jenis (kg/m³)	SNI	Metode Pengujian
Massa Jenis (40)	30	889,92	850-890	SNI 7182 : 2015
	40	875,82		
	50	863,3		



Gambar 1. Grafik Densitas Pada Berbagai Suhu

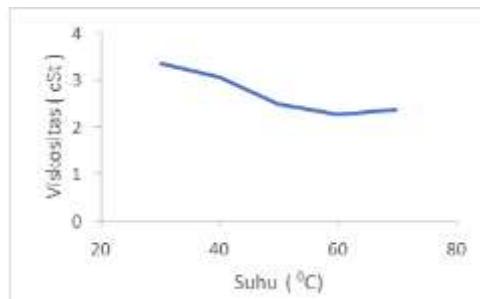
Hasil penelitian disajikan pada Tabel 3. dan Gambar 1. terlihat bahwa densitas biodiesel pada temperatur berbeda memenuhi standar SNI 7182 : 2015. Hasil perolehan nilai densitas tinggi atau rendah dipengaruhi oleh tahap pemurnian karena tahap pemurnian yang kurang baik dapat menyebabkan densitas bervariasi. Berdasarkan data yang ada, massa jenis yang diuji pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ , dan  $70^{\circ}\text{C}$  umumnya menunjukkan penurunan, kecuali pada suhu  $70^{\circ}\text{C}$ , di mana terjadi sedikit peningkatan massa jenis dibandingkan suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . Perubahan ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang tidak selalu dapat diprediksi dalam pengujian massa jenis bahan, seperti karakteristik material yang diuji, ketidakakuratan dalam pengukuran, dan pengaruh kondisi pengujian. Densitas akan berdampak dengan kualitas biodiesel, semakin besar nilai densitas maka semakin besar nilai kalornya (Rudi Hartono, 2022).

#### Uji Viskositas

Viskositas adalah parameter terpenting dalam kelayakan penggunaan biodiesel pada mesin diesel. Viskositas minyak biodiesel menurut SNI 7182 : 2015 dari 2,3 menjadi 6,0 cSt (pada  $40^{\circ}\text{C}$ ). Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Jika viskositas rendah akan menyebabkan kebocoran injektor sehingga daya pembakaran berkurang dan jika viskositas tinggi, maka bahan bakar akan sulit disuplai ke ruang pembakaran (Amalia et al., 2020)

Tabel 4. Karakteristik Viskositas Biodiesel Berbagai Suhu

Uji Kualitas	Suhu ( ${}^{\circ}\text{C}$ )	Viskositas (cSt)	SNI	Metode Pengujian
Viskositas ( $40^{\circ}\text{C}$ )	30	3,34	2,3 - 6,0 (cSt)	SNI 7182 : 2015
	40	3,05		
	50	2,47		
	60	2,25		
	70	2,35		



Gambar 2. Grafik Viskositas Pada Berbagai Suhu

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2, terlihat bahwa viskositas biodiesel cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu reaksi hingga mencapai nilai minimum pada suhu

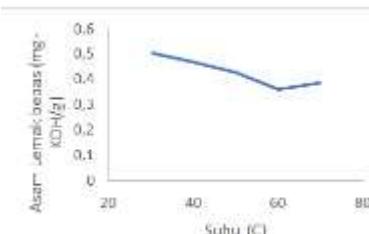
60°C. Penurunan viskositas ini menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berlangsung lebih sempurna, sehingga trigliserida dengan viskositas tinggi berhasil dikonversi menjadi ester asam lemak yang memiliki viskositas lebih rendah.

### **Uji Asam Lemak Bebas**

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas biodiesel adalah tingkat asam. Semakin rendah tingkat asam, terutama di sekitar Ph 6–7, yaitu menuju netral makan, semakin tinggi tingkat asam dan semakin banyak metil ester yang dihasilkan (Faizal et al., 2013). Pengaruh suhu dalam bilangan asam dapat dilihat dari Table 5. dan Gambar 3.

Tabel 5. Karakteristik Asam Lemak Biodiesel Berbagai Suhu

UJI Kualitas	Suhu ( °C )	Asam Lemak Bebas ( mg - KOH/g )	SNI	Metode Pengujian
Bilangan Asam	30	0,49944389	0,5 maks	SNI 7182 : 2015
	40	0,4644464286		
	50	0,423972527		
	60	0,35912394		
	70	0,38509322		



Gambar 3. Grafik Asam Lemak Bebas Pada Berbagai Suhu

Berdasarkan hasil uji bilangan asam yang tercantum dalam Tabel 4.3, terlihat bahwa suhu memengaruhi bilangan asam biodiesel. Hasil yang diperoleh telah memenuhi ketentuan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015), yang menetapkan batas maksimum bilangan asam sebesar 0,5 mg-KOH/g. Menurut (Rastini, 2022), apabila bilangan asam melebihi nilai yang ditetapkan dalam baku mutu biodiesel, hal ini dapat berdampak negatif pada kinerja mesin saat biodiesel digunakan, yaitu biodiesel dapat mengendap di sistem bahan bakar dan menyebabkan korosi pada mesin, yang berpotensi merusak mesin.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3, dapat diamati bahwa variasi suhu reaksi transesterifikasi memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai bilangan asam biodiesel yang dihasilkan. Seiring dengan meningkatnya suhu reaksi dari 30°C hingga 60°C, nilai bilangan asam biodiesel cenderung mengalami penurunan, yang menunjukkan bahwa konversi asam lemak bebas menjadi ester asam lemak berlangsung semakin efektif. Kondisi ini berkaitan erat dengan meningkatnya energi kinetik molekul reaktan pada suhu yang lebih tinggi, sehingga frekuensi tumbukan antar molekul meningkat dan reaksi transesterifikasi dapat berlangsung lebih sempurna. Namun, pada suhu 70°C terjadi peningkatan kembali nilai bilangan asam, yang diduga disebabkan oleh penguapan sebagian etanol atau terjadinya reaksi samping akibat suhu yang telah melewati kondisi optimum. Meskipun demikian, seluruh nilai bilangan asam biodiesel yang diperoleh masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh SNI 7182:2015, yaitu sebesar 0,5 mg- KOH/g. Nilai bilangan asam yang rendah sangat penting karena biodiesel dengan bilangan asam tinggi berpotensi menyebabkan korosi pada sistem bahan bakar dan menurunkan kinerja mesin diesel dalam jangka panjang.

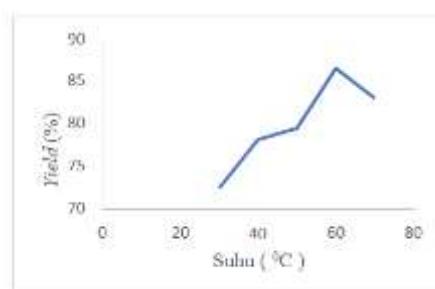
### **Yield Biodiesel**

Peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan energi kinetik dari reaktan sehingga akan meningkatkan jumlah minyak yang terkonversi menjadi biodiesel. Semakin besar volume minyak yang dikonversi menjadi biodiesel, maka produksi biodiesel akan meningkat karena

yield biodiesel juga meningkat.

Tabel 6. Yield Biodiesel Berbagai Suhu

No	Suhu (°C)	berat total minyak (gr)	berat produk Biodiesel (gr)	Yields (%)
1	30	100	72,46	72,46
2	40	100	78,12	78,12
3	50	100	79,48	79,48
4	60	100	86,52	86,52
5	70	100	82,98	82,98



Gambar 4. Grafik Yield Biodiesel Pada Berbagai Suhu

Hasil penelitian disajikan pada Tabel 6. dan Gambar 4. terlihat bahwa yield biodiesel terbaik pada suhu 60 °C. Dalam proses pembuatan biodiesel semakin tinggi suhu reaksi maka yield yang dihasilkan akan meningkat. Hal ini disebabkan karena molekul-molekul reaktan lebih mudah bereaksi membentuk ester asam lemak ketika mereka bergerak dan saling bertumbukan pada suhu tinggi. Semakin tinggi suhu operasi, maka konstanta kecepatan reaksi makin besar dan laju reaksinya semakin cepat. Akan tetapi jika dalam reaksi sudah mencapai suhu optimum, maka dengan peningkatan suhu akan menurunkan produk yang dihasilkan(Susanti & Santosa, 2022). Karena molekul-molekul reaktan bergerak lebih cepat dan bertumbukan lebih sering, mempercepat reaksi pembentukan ester asam lemak. Namun, ketika suhu operasi mencapai titik optimum, kenaikan suhu lebih lanjut justru dapat menurunkan hasil biodiesel.

Hasil pengujian yield biodiesel pada berbagai variasi suhu reaksi transesterifikasi ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 4, yang memperlihatkan adanya kecenderungan peningkatan yield seiring dengan naiknya suhu reaksi hingga mencapai suhu 60°C. Yield biodiesel meningkat secara bertahap dari 72,46% pada suhu 30°C menjadi 86,52% pada suhu 60°C, yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu mampu mempercepat laju reaksi dan meningkatkan konversi minyak kelapa RBD bekas menjadi ester asam lemak. Peningkatan suhu menyebabkan molekul reaktan bergerak lebih aktif sehingga peluang terjadinya tumbuhan efektif antar molekul semakin besar. Namun, pada suhu 70°C terjadi penurunan yield biodiesel menjadi 82,98%, yang mengindikasikan bahwa suhu tersebut telah melewati kondisi optimum reaksi. Pada suhu yang terlalu tinggi, penguapan etanol dan kemungkinan terjadinya degradasi produk dapat menghambat pembentukan biodiesel secara maksimal. Dengan demikian, suhu 60°C dapat ditetapkan sebagai suhu optimum dalam penelitian ini karena menghasilkan yield tertinggi sekaligus karakteristik biodiesel yang memenuhi standar mutu nasional.

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses pretreatment minyak kelapa RBD bekas menggunakan karbon aktif tempurung kelapa teraktivasi asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) terbukti efektif dalam menurunkan kadar asam lemak bebas. Penurunan nilai asam lemak bebas dari 1,8017% menjadi 0,08649% menunjukkan bahwa adsorben berbasis tempurung kelapa memiliki daya serap yang baik terhadap senyawa asam dan pengotor dalam minyak. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah tempurung kelapa sebagai adsorben tidak hanya mampu meningkatkan kualitas bahan baku biodiesel, tetapi juga mendukung prinsip pemanfaatan limbah menjadi material bernilai guna dalam proses produksi

energi terbarukan. Variasi suhu pada proses transesterifikasi terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan, meliputi densitas, viskositas, bilangan asam, dan yield biodiesel. Peningkatan suhu reaksi hingga batas tertentu mampu meningkatkan laju reaksi dan konversi minyak menjadi ester asam lemak, yang ditunjukkan oleh menurunnya nilai viskositas dan bilangan asam serta meningkatnya yield biodiesel. Namun, pada suhu yang terlalu tinggi terjadi kecenderungan penurunan kualitas dan kuantitas biodiesel akibat penguapan alkohol dan kemungkinan terjadinya reaksi samping. Hal ini menunjukkan bahwa suhu reaksi merupakan parameter penting yang harus dikontrol secara optimal dalam proses pembuatan biodiesel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, ah, Elvian Gayuh Prasetya, H., Siti Nurlaili, E., & Achmad Bahrul Ulum Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, dan. (2020). pilot plant proses produksi biodiesel menggunakan katalis basa homogen. In Journal of Research and Technology (Vol. 6, Issue 1).
- Faizal, M., Maftuchah, U., Atro Auriyani, W., Kunci, K., & Sapi, L. (2013). Pengaruh Kadar Metanol, Jumlah Katalis, Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Lemak Sapi Melalui Proses Transesterifikasi. In Jurnal Teknik Kimia (Vol. 19, Issue 4).
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. In Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 16, Issue 1, pp. 143–169). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>
- Indah, T. S., Said, M., Summa, A. W., Sari, A. K., & Pembicara, K. (2011). Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang.
- M Isa Anshary, O. D. dan A. R. (2012). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda Dalam ReaktorFixed Bed. Jurnal Teknik Pomits, I(1),1-4.
- Markopala, P. (2007). Studi Efektivitas Transesterifikasi In Situ Pada Ampas Kelapa (Cocos nucifera) untuk Produksi Biodiesel. [Tesis]. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Piker, A., Tabah, B., Perkas, N., & Gedanken, A. (2016). A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. Fuel, 182, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.078>
- Pujiyanto. (2010). Pembuangan Karbon Aktif Super Dari Tempurung Kelapa dan Batubara. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Rastini, E. K. , J. J. , & A. A. (2022). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa pada Suhu Ruang dengan Variasi Katalis Basa dan Waktu Pengadukan. Prosiding SENIATI, 6(3), 589-595. 13, 2022.
- Sugiyono, B., & Adi Prasetya, H. (2018). The Effect Of Bamboo Activated Charcoal On Cure Characteristics And Mechanical Properties Of Sport Damper.
- Susanti, T., & Santosa, S. (2022). Studi Penggunaan Katalis Cao-Naoh Pada Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah. Distilat: Jurnal Teknologi Separasi, 8(2), 294–300. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i2.361>. 2022(2), 294–300. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Tamado, D., Budi, E., Wirawan, R., Dwi, H., Tyaswuri, A., Sulistiani, E., Asma, E., Fisika, J., Mesin, J. T., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2013). Sifat Termal Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa. In Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta.